

442

PRZEMYSŁOWY INSTYTUT AUTOMATYKI I POMIARÓW
MERA-PIAP

Al. Jerozolimskie 202 02-222 Warszawa Telefon 23-70-81

Ośrodek Pomiarów Ruchu i Czasu

BE 10

Założenia i projekt wstępny uzgodniony z OBRMHIR

Uzgodniono z uwagami wg pisma OBR/ZH-2/2269/85

Główny wykonawca mgr inż. Marian Fabrycy

Wykonawcy inż. Stanisław Pacholczak

Ewa Lewicka

Konsultant dr inż. Jan Winiński

Nr zlecenia 1934

Opracowanie czujnika detonacji dla silnika samochodowego 1,2 dla układu zapłonowego z pamięcią, wykonanego przez OBRMHIR Etap 1. Studia, założenia i projekt wstępny, wykonanie i badania wybranych węzłów konstrukcyjnych /Założenia i projekt wstępny przedstawiony do uzgodnienia

Zleceniodawca

OBR SO

OBRMHIR/

Pracę rozpoczęto dnia 85.05.

zakończono dnia 85.08.30

Kierownik Pracowni

Kierownik Ośrodka

mgr inż. M. Fabrycy

D Y R E K T O R

prof. dr inż. St. Dwojak

dr inż. J. Winiński

Praca zawiera:

Rozdzielnik - ilość egz:

stron 28

Egz. 1 BOINTE

rysunków 11

Egz. 2 OBR SO

fotografii

Egz. 3 OBR MH i R

tabel

Egz. 4 ORC - 5

tablic

Egz. 5

załączników

Egz. 6

Nr rejestr. 5457

Analiza deskryptorowa CZUJNIK DETONACJI ; ZAŁOŻENIA, PROJEKT WSTĘPNY ;
SILNIKI SPALINOWE

Analiza dokumentacyjna Podano rozeznanie tematu na podstawie studiów,
badań wybranych węzłów, przedstawiono założenia
i projekt wstępny.

Tytuły poprzednich sprawozdań

621.43 Silniki spalinowe

621.347.33 / 084.2
analiza i projekt wstępny

UKD

MERA-PIAP/TW 331/78 5000

Przemysłowy Instytut Automatyki
i Pomiarów

Warszawa

Al. Jerozolimskie 38

Data: 14.10.85

L. dz.: OBR/ZH-2 /2269/85

Dotyczy: Czujnika detonacji dla samochodu 1,2.

Przedstawione do uzgodnienia "Założenia i projekt wstępny czujnika detonacji do samochodu 1,2" przyjmujemy z następującymi zmianami:

1. pkt. 5.2. str. 17. ostatni wiersz - skreślić "przez 5 min."
2. pkt. 5.2. str. 18. 6 wiersz zastąpić liczbą 250 liczbą 400.
3. pkt. 5.2. str. 18 wiersz 4+3 od dołu zmienić na : poziom sygnału wyjściowego i charakterystyka: amplituda sygnału wyjściowego w funkcji częstotliwości zostaną ustalone po przeprowadzeniu badań akustycznych silnika na hamowni FSO.
4. pkt. 5.2. str. 19. Na końcu punktu dodać następujące wymaganie:
- Rezystancja izolacji mierzona między zwartymi wyjściami sygnałowymi i obudową przy napięciu stałym 2,0 kV winna być większa od 20 Mom.

ko: JH2

a/a



SPIS TRESCI

| | str. |
|--|------|
| 1. SPRAWY FORMALNE | 3 |
| 1.1 Przedmiot pracy | 3 |
| 1.2 Podstawa wykonania pracy | 3 |
| 1.3 Zakres pracy | 3 |
| 2. SPALANIE MIESZANKI W SILNIKU Z ZAPŁONEM ISKROWYM | 3 |
| 2.1 Spalanie normalne | 3 |
| 2.2 Spalanie stukowe /detonacyjne/ | 4 |
| 2.3 Spalanie przy zapłomie od ścianki lub nagaru | 5 |
| 3. PRZEGLĄD CZUJNIKÓW | 6 |
| 3.1 Stan techniki | 6 |
| 3.1.1 Czujniki ciśnienia i siły | 7 |
| 3.1.2 Czujniki przyspieszeń | 8 |
| 3.2 Porównanie własności czujników | 8 |
| 4. WYTYPOWANIE CZUJNIKÓW DO BADAŃ WSTĘPNYCH I WYNIKI BADAŃ | 10 |
| 4.1 Pożądana charakterystyka czujnika i wybór czujników do badań wstępnych | 10 |
| 4.1.1 Czujnik indukcyjny /reluktancyjny/ i wyniki badań wstępnych. | 11 |
| 4.1.2 Czujnik strunowy i wyniki badań wstępnych | 13 |
| 4.1.3 Czujnik piezoelektryczny i wyniki badań wstępnych. | 14 |
| 4.2 Ocena wyników badań wstępnych | 15 |
| 5. ZAŁOŻENIA TECHNICZNE | 17 |
| 5.1 Wybór rodzaju czujnika | 17 |
| 5.2 Wymagania | 17 |
| 5.3 Analiza potrzeb krajowych i możliwości eksportowych | 19 |
| 5.4 Przewidywane koszty produkcji | 19 |
| 6. PROJEKT WSTĘPNY | 21 |
| 6.1 Opis budowy i działania | 21 |
| 6.2 Zakres prac dla umożliwienia wykonania modeli użytkowych. | 22 |

1. SPRAWY FORMALNE

1.1. Przedmiot pracy

Przedmiotem pracy w etapie 1 jest rozeznanie tematu przez studia, badanie wybranych układów, opracowanie założeń i projektu wstępnego.

Realizacja wymienionych prac umożliwi opracowanie i wykonanie modeli.

1.2. Podstawa wykonania pracy

Praca jest realizowana na zamówienie Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Samochodów Osobowych wg. umowy Nr.59/83 i ma na celu opracowanie czujnika detonacji dla silnika samochodu 1,2 dla układu zapłonowego z pamięcią wykonywanego przez OBRMH i R.

1.3. Zakres pracy

Zakres pracy etapu 1 obejmuje rozeznanie tematu, opracowanie założeń i projektu wstępnego. Na bazie etapu 1 w etapach następnych zostaną wykonane i zbadane modele oraz prototypy.

2. SPALANIE MIESZANKI W SILNIKU Z ZAPŁONEM ISKROWYM

2.1. Spalanie normalne

Spalanie zapoczątkowane iskrą elektryczną w mikroobszarze elektrod świecy rozprzestrzenia się początkowo laminarnie, a następnie turbulentnie praktycznie z jednakową prędkością we wszystkich kierunkach. Proces spalania kończy się gdy spalanie obejmie całą objętość mieszanki i skończy się wydzielanie ciepła.

Proces spalania dzieli się na trzy okresy: I - od wystąpienia iskry do wzrostu ciśnienia spowodowanego spalaniem, II - od zakończenia okresu I do wystąpienia ciśnienia maksymalnego,

III - od wystąpienia ciśnienia maksymalnego do zaprzestania wydzielania się ciepła. Na prędkość spalania wpływa:

- W pewnym stopniu prędkość obrotowa silnika.
- Zwiększenie obciążenia w zasadzie zwiększa prędkość spalania o ile nie obniży się współczynnik nadmiaru powietrza.
- Zmniejszenie ciśnienia atmosferycznego zmniejsza prędkość spalania co zmusza do stosowania większych kątów wyprzedzania.
- Dławienie w tłumiku wydechowym wydłuża czas spalania ze względu na to, że zwiększana ilość pozostałych spalin w cylindrze działa jak gaz obojętny.
- Zbyt bogata lub uboga mieszanka powoduje wydłużenie czasu spalania.

Wykres indykatorowy spalania normalnego przedstawiono na Rys.1 /krzywa a/.

2.2. Spalanie stukowe /detonacyjne/

Spalanie stukowe /knock/ zwane niekiedy detonacyjnym występuje głównie gdy liczba oktanowa paliwa jest zbyt niska dla danego silnika i jego warunków pracy. Jego istota polega na powstawaniu, w wyniku samozapłonu, nowych ośrodków spalania / w niespalonej części mieszanki/ co powoduje zderzenie się fal rozprzestrzeniania spalania, następuje szybki przyrost ciśnienia i w efekcie spalanie wybuchowe pozostałej mieszanki.

Powstała fala uderzeniowa w wyniku kolejnych odbić od ścianek daje na wykresie indykatorowym, w trzecim okresie spalania, pulsacyjny przebieg ciśnienia.

Wpływ warunków pracy silnika na spalanie stukowe jest następujący:

- Wzrost prędkości obrotowej silnika zmniejsza skłonność do spalania stukowego, stąd silniki wysokoobrotowe mogą mieć podwyższony stopień sprężania dla danego paliwa.
- Wzrost ciśnienia lub temperatury powietrza zwiększa skłonność do spalania stukowego.
- Zwiększenie wyprzedzenia kąta zapłonu zwiększa skłonność do spalania stukowego.

Wykres indykatorowy spalania stukowego przedstawiono na Rys.1 /krzywa b/.

2.3. Spalanie przy zapłonie od ścianki lub nagaru

Nadmierne rozgrzanie ścianki /szczególnie okolice zaworu wylotowego oraz izolator świecy/ lub nagar mogą powodować samozapłony. Liczba oktanowa paliwa nie ma tu istotnego znaczenia. Ze względu na objawy rozróżnia się następujące przypadki:

- Samozapłon mieszanki występuje dopiero w końcowej fazie spalania, objaw ten jest praktycznie niedostrzegalny.
- Samozapłon mieszanki występuje od izolatora świecy bezpośrednio przed wystąpieniem iskry, praca silnika jest w zasadzie normalna a jedynie przy wyłączonym zapłonie silnik nie gaśnie.
- Samozapłon mieszanki występuje w I lub II fazie spalania w oddalonym rejonie od świecy powodując efekt spalania stukowego, przyczym może ono występować nieregularnie /wild ping/ to jest nie we wszystkich cylindrach silnika.

- Przy nadmiernie rozgrzanych ściankach lub nagrzej występuje samozapłon przed wystąpieniem iskry dając efekt zbyt dużego kąta wyprzedzenia zapłonu a w granicznych przypadkach dając efekt dźwiękowy zbliżony do dudnienia /do 1 kHz/ lub grzechotu /rumble/ i charakteryzuje się znacznie większymi ciśnieniami maksymalnymi i wcześniejszym występowaniem ciśnienia maksymalnego jak przy innych przebiegach spalania. Wykres indykatorowy tego rodzaju spalania przedstawiono na rys. 1 /krzywa c/.

3. PRZEGLĄD CZUJNIKÓW

3.1. Stan techniki

Zwiększenie stopnia sprężania powoduje zwiększenie sprawności silnika i tym samym zmniejszenie zużycia paliwa. Zwiększenie kąta wyprzedzenia zapłonu daje w pewnych granicach efekt podobny do zwiększonego stopnia sprężania, stąd dążenie do stosowania kątów wyprzedzenia zapłonu /stopnia sprężania/ bliskich występowaniu samozapłonów czyli spalaniu stukowemu. Do wykrycia spalania stukowego w celu sterowania kątem wyprzedzenia zapłonu stosuje się czujniki detonacji /sensor-engine knock/. Rozwój powyższych układów sterowania nastąpił wraz z rozwojem elektroniki /mikroprocesor/ i dotyczy ostatnich kilku lat. Pomimo to daje się zauważyć pewną tendencję rozwojową w rodzaju stosowanych czujników dla wykrycia spalania stukowego. Do stosowanych czujników należą czujniki ciśnienia, czujniki siły oraz czujniki przyspieszeń.

Sygnalem pojawienia się spalania stukowego jest pulsacja ciśnienia, w III strefie spalania. Z tych względów czujnik detonacji powinien odtwarzać tylko pulsacje o częstotliwości

charakterystycznej dla spalania stukowego.

Częstotliwości charakterystyczne dla spalania stukowego są podawane w literaturze specjalistycznej od 3 kHz do ponad 10 kHz.

Taka rozbieżność w publikacjach jest prawdopodobnie spowodowana różnymi warunkami badań jak np. różne silniki, różne stopnie sprężania, różne obroty itp czynniki wpływające na spalanie stukowe.

3.1.1. Czujniki ciśnienia i siły

Czujniki ciśnienia przyłączone do komory spalania nie są raczej stosowane za wyjątkiem badań laboratoryjnych.

Stosowane są rozwiązanie czujników na które ciśnienie oddziałuje pośrednio przez istniejące części silnika. Czujniki te można zaliczyć do czujników siły.

Z typowych rozwiązań wymienić należy:

- Czujnik mocowany w specjalnym nieprzelotowym otworze głowicy, którego dość cienkie dno spełnia rolę membrany. XXXXXXXXXX

Taki czujnik może być piezoelektryczny lub magnetostrykcyjny.

- Czujnik wykonany w formie podkładki pod świecę zapłonową, występujący jako element oddzielny lub wbudowany w świecę.

- Ciśnienie spalania działając na świecę zapłonową, powoduje zmianę nacisku montażowego oddziałującego na czujnik. Są to czujniki piezoelektryczne.

- Czujnik wykonany w formie podkładki pod szpilkę mocowania głowicy do cylindrów, o analogicznej zasadzie jak czujnik montowany pod świecą.

3 .1.2. Czujniki przyspieszeń

Czujniki przyspieszeń do wykrywania spalania stukowego są produkowane jako wykonania specjalne, przyczym nie są nam znane szczegóły budowy wyróżniające je od innych czujników przyspieszeń, za wyjątkiem braku wymagań na błąd nieliniowości. Wg ustalonych przekazów czujniki te podobno posiadają częstotliwość rezonansową odpowiadającą częstotliwości występującej przy spalaniu stukowym.

Do wykrywania spalania stukowego są obecnie najczęściej stosowane czujniki przyspieszeń. Stosuje się czujniki piezoelektryczne i magnetostrykcyjne.

W czujnikach piezoelektrycznych mających dużą rezystancję wyjściową, niewątpliwym problemem jest zabezpieczenie przed zakłóceniami. Zwiększoną odporność na zakłócenia, można uzyskać wbudowując do czujnika specjalny przedwzmacniacz.

Nie posiadamy informacji czy takie rozwiązanie jest stosowane w czujnikach detonacji.

3 .2. Porównanie własności czujników

Porównanie własności czujników powinno uwzględniać w szczególności charakter spalania stukowego oraz specyficzne warunki pracy.

Do warunków tych zaliczyć należy:

- przebieg ciśnień, sił i przyspieszeń ;
- odporność na zakłócenia ;
- ingerencja w budowę silnika ;
- własności użytkowe ;

- koszt produkcji.

Wielkość amplitud ciśnień i sił wywołana procesem spalania jest niekorzystna dla wykrycia spalania stukowego, ponieważ przebieg wolnozmienny będący stukiem spalania normalnego zajmuje znaczną część zakresu pomiarowego czujnika i układu wzmacniającego.

Bardziej korzystnej sytuacji należy oczekiwać mierząc przyspieszenie będące stukiem spalania stukowego. Przyspieszenia wywołane spalaniem stukowym w materiale głowicy są w paśmie słyszalnej fali dźwiękowej, która rozprzestrzenia się we wszystkich kierunkach i nie musi się pokrywać z przyspieszeniami od spalania normalnego. W przypadku potwierdzenia się postawionej hipotezy wyższość czujników przyspieszeń wydaje być się oczywista. Za słusznością tej hipotezy przemawiają wzmianki w literaturze, że dla czujnika przyspieszeń należy znaleźć najbardziej korzystne miejsce na silniku. Z badań f-my Bosch wynika, że najbardziej korzystnym miejscem była boczna ścianka cylindra.

Pod względem odporności na zakłócenia niewątpliwą przewagę posiadają czujniki z przetwornikiem magnetostrykcyjnym z powodu niskiej rezystancji wewnętrznej.

Czujniki ciśnień wmontowane w głowicę wymagają zmian konstrukcyjnych silnika. Ponadto montaż ich, podobnie jak i czujników w formie podkładki pod świecę lub szpilkę, wymaga ostrych reżymów montażowych, które trudno zapewnić przy ich wymianie.

Koszty produkcji omawianych czujników, wykonanych jako piezoelektryczne, ze względu na zbliżony stopień komplikacji, powinny być porównywalne wzajemnie.

Nie można określić proporcji kosztów produkcji czujników

magnetostrykcyjnych do piezoelektrycznych z powodu ^{braku prac} własnych w tym zakresie jak też z braku publikowanych informacji.

Z porównania opisanych czujników wynika, że czujnik przyspieszeń jest najbardziej predysponowany do użycia jako czujnik detonacji.

4. DOBRANIE CZUJNIKÓW DO BADAŃ WSTĘPNYCH I WYNIKI BADAŃ

4.1 Pożądana charakterystyka czujnika i wybór czujników do badań wstępnych

Jak wynika z punktu 3.2 czujnik detonacji najkorzystniej będzie rozwiązać jako czujnik przyspieszeń. Pożądane jest, aby był on szczególnie czuły na efekty związane ze spalaniem stukowym. Szczególna czułość może być spowodowana:

- Nieliniowością amplitudową Rys.2 a
- Charakterystyką częstotliwością rys.2 b

Takie własności czujnika spowodują, że sygnały wywołane spalaniem stukowym będą charakteryzowały się zwiększoną amplitudą co ułatwi wyodrębnienie ich z innych sygnałów.

Rezystancja wewnętrzna czujnika powinna być mała dla ułatwienia eliminacji zakłóceń elektrycznych.

W konkluzji do badań wstępnych wytypowano następujące układy:

- Czujnik indukcyjny, który może posiadać korzystne charakterystyki amplitudowe i częstotliwościowe.
- Czujnik strunowy, ze względu na łatwość uzyskania dużego wzmocnienia rezonansowego /rys.2b/.
- Czujnik piezoelektryczny w specjalnym układzie umożliwiającym kształtowanie charakterystyki /wg rys.2a i 2b/.

4.1.1 Czujnik indukcyjny /reluktancyjny/ i wyniki badań wstępnych

Konstrukcja czujnika jest przedstawiona na rys.3.

Obwód magnetyczny składa się ze spieków ferromagnetycznych to jest kubka ferrytowego i magnesu ^{an}magnesowego promieniowo. Szczelina magnetyczny znajduje się pomiędzy rdzeniem kubka, a powierzchnią magnesu i jest rzędu kilku mikrometrów. Tak mała szczelina wynika z bardzo małych przemieszczeń /odkształceń magnesu wywołanych mierzonymi przyspieszeniami oraz chęcią uzyskania charakterystyki amplitudowej o silnej nieliniowości. Płytką magnetyczną w swojej osi jest obciążona bezwładnikiem w celu obniżenia częstotliwości rezonansowej. Do badań wykonano uproszczony model czujnika. Ze względu na brak wstrząsarki o tak wysokich częstotliwościach drgań, badania wstępne przeprowadzono pobudzając do drgań płytkę przyłożonym głośnikiem zasilanym z generatora. Do płyty mocowano badany czujnik. Zmieniając częstotliwość generatora, na oscyloskopie porównując amplitudy, szukano rezonansów.

Przedstawiony czujnik nie wykazywał rezonansów co tłumaczono własnościami tłumiącymi materiału magnesu. Dla potwierdzenia powyższego wykonano inny model czujnika w którym magnes zastąpiono płytką stalową, a strumień magnetyczny w obwodzie wywołano zasilając cewkę czujnika.

Tak wykonany czujnik dawał sygnały do 1,2 kHz, powyżej tej wartości sygnał zanikał z powodu strat na prądach wirowych w materiale płytki stalowej.

Dla uniknięcia strat sygnału na prądy wirowe w materiale, płytkę zastąpiono cienką membraną przyspawaną do pierścienia.

Badania wykazały wzbudzenie się do rezonansu w szeregu punktach w badanym przedziale do 11 kHz.

Uzyskany wynik nie był zadowalający ponieważ tą drogą nie uzyskano jednoznacznego filtra pasmowego w samym czujniku. Dalsze poszukiwania układu czujnika w którym można kształtować charakterystykę częstotliwościową metodą rezonansu przedstawiono w punkcie 4.1.2.

Ze względu na zachęcające wyniki, w zastąpieniu magnezu przez zasilanie cewki pomiarowej, wykonano model czujnika którego obwód magnetyczny składał się tylko z kubków ferrytowych. Jeden z kubków został obciążony bezwładnikiem dla wywołania zmian szczeliny odkształceniami kubka. Przeprowadzone badania wykazały możliwość uzyskania większych sygnałów jak dla rozwiązania z magnezem, przy niższych kosztach wykonania /kształtki handlowe/.

Tak prowadzone badania nie dawały poglądu co do wartości wymuszanego sygnału, dlatego też obok badanego modelu czujnika przymocowane znany czujnik f-my Bruel Kjaer o czułości około 2 m V/g i przeprowadzone badania porównawcze. Badania te wykazały, że dla małych wartości przyspieszeń rzędu 1 g badany model jest mniej czuły od czujnika Bruel Kjaer natomiast dla przyspieszeń większych rzędu 5 g jest około pięciokrotnie bardziej czuły, czyli że zakładane kształtowanie charakterystyki amplitudowej występuje.

Czujnik badany jest typu reluktancyjnego za tym amplitudę sygnału określa wzór:

$$U = \frac{d\phi}{dt}$$

to znaczy że jest ona proporcjonalna do prędkości zmian strumienia magnetycznego, a w tym przypadku do częstotliwości co przedstawiono na wykresie rys.4.

14

Stosując filtry dolno i górno przepustowe można uzyskać zbliżoną do optymalnej charakterystykę częstotliwościową.

Uwzględniając nieliniowość amplitudową, nieliniowość częstotliwościową oraz filtry dolnoprzepustowe i górnoprzepustowe, ponadto zakładając, dla rozważań teoretycznych, że nie występują drgania od niewyważenia silnika, od luzów na łożyskach, pracy zaworów i przekładni zębatych można wyobrazić sobie wykres inductorowy wykonany przy użyciu czujnika przyspieszeń liniowych dla spalania normalnego i stukowego co przedstawiono na rys.5.

4.1.2. Czujnik strunowy i wyniki badań wstępnych

Dla zbadania możliwości ukształtowania charakterystyki częstotliwościowej wg postawionych wymagań opracowano czujnik z elementem drgającym w postaci struny rys.6. Struna jako element drgający jest dokładnie opracowana teoretycznie i doświadczalnie stąd wynika łatwa interpretacja wyników.

Działanie modelu czujnika jest następujące:

Prostopadle do struny, działające przyspieszenie zmienne powoduje jej drgania, które są zamieniane na sygnał elektryczny współosiowym czujnikiem indukcyjnym. Długość struny wynosiła 30 mm. Badano struny o grubości 0,1mm i 0,15mm.

Częstotliwość rezonansową zmieniano, zmianą naciągu struny.

Uzyskano częstotliwości rezonansowe do ok. 6kHz.

Badania w całym paśmie częstotliwości wykazały, że następuje wzbudzenie rezonansowe dla wszystkich pod-rezonansowych i nad-rezonansowych częstotliwości wynikających w przybliżeniu z podzielenia lub pomnożenia częstotliwości rezonansowej przez liczby całkowite. Przyczyn w tak uzyskanych punktach rezonansowych sygnał był zniekształcony prawdopodobnie częstotliwością

rezonansową, co by ^{nie} umożliwiło skuteczne filtrowanie na drodze elektrycznej.

Szerokość pasma podlegającego wzbudzeniu rezonansowemu wynosiła nie więcej jak 5% częstotliwości rezonansowej.

Na podstawie przeprowadzonych doświadczeń można wysiągnąć wniosek, że kształtowanie charakterystyki częstotliwościowej przez pracę w rezonansie jest niemożliwe.

Natomiast w przypadku gdy czujnik posiada właściwe tłumienie, pożądane jest by jego częstotliwość rezonansowa była zbliżona do częstotliwości mierzonej ze względu na uzyskanie największej czułości. W czujniku z tłumieniem praktycznie nie wystąpią wzmocnienia dla częstotliwości rezonansowych a tym bardziej dla częstotliwości podrezonansowych.

Ze względu na trudności wprowadzenia tłumienia w czujniku strunowym z rozwiązania tego zrezygnowano.

4.1.3 Czujnik piezoelektryczny i wyniki badań wstępnych

Uwzględniając specyfikę pomiaru spalania stukowego przy, której celowo są zniekształcenia charakterystyki opisane w p. 4.1 opracowano model czujnika z nieliniową charakterystyką amplitudową. W tym celu posłużono się nieliniową charakterystyką piezoelementu rys.7. Nieliniowość ta w innego typu czujnikach jest likwidowana wprowadzeniem naprężeń wstępnych przesuwających punkt pracy. W naszym przypadku część nieliniowej charakterystyki piezoelementu jest bardzo korzystna. Proponowane rozwiązanie przedstawione na rys.8. Membrana zapewnia częstotliwość rezonansową, bliską częstotliwości spalania stukowego, tłumienie jest realizowane wazeliną silikonową.

W rozwiązaniu takim przymocowanie piezoelementu i bezwładnika bez wprowadzania naprężeń wstępnych jest możliwe tylko metodą klejenia co może znacznie ograniczać maksymalną wartość przyspieszeń na które będzie odporny czujnik. Przeprowadzone badania wykazały, że potrzebną częstotliwość rezonansową czujnika można uzyskać przez dobranie grubości membrany w zależności od masy bezwładnika /masy sejsmicznej/. Uzyskane czułości czujnika były zadawalające, porównywalne z uzyskanymi dla modelu czujnika z przetwornikiem indukcyjnym. Dalsze badania czujnika przeprowadzone w kierunku uproszczenia układu przez wyeliminowanie membrany. Elementem sprężystym w tym przypadku był sam piezoelement, schematyczny układ takiego czujnika przedstawiono na rys.9. Przeprowadzone badania wykazały, że dobierając wielkość bezwładnika można i w takim przypadku uzyskać obniżenie częstotliwości rezonansowej czujnika do zakresu częstotliwości spalania stukowego.

Dla wyeliminowania głównej wady czujnika piezoelektrycznego, to jest małej odporności na zakłócenia elektryczne, przeprowadzono badania z użyciem prostego wzmacniacza wmontowanego w czujnik. Schemat wzmacniacza przedstawia rys.10.

Rezystancja w bazie tranzystora rzędu 200 k Ω dla interesujących nas częstotliwości nie powoduje znaczącego tłumienia sygnału pomiarowego. Wydaje się że układ taki przy zastosowaniu przyłącza dwu-przewodowego z ekranem przyłączonym do masy, przy zasadniczym układzie elektronicznym, powinien być odporny na występujące zakłócenia.

4.2. Ocena wyników wstępnych

Wyniki badań wstępnych wykazały możliwość zbudowania czujnika

indukcyjnego i piezoelektrycznego. W obydwu rozwiązaniach istnieje możliwość korzystnego kształtowania charakterystyki amplitudowej i częstotliwościowej. Uzyskane czułości są nieco większe dla czujnika [REDACTED] piezoelektrycznego. Zastosowanie w czujniku piezoelektrycznym prostego przedwzmacniacza znacznie ogranicza możliwość zakłócenia pomiaru. Wg naszej oceny w wyborze rozwiązania do dalszej realizacji powinien decydować w zasadzie czynnik ekonomiczny i dostępność materiałów.

5. ZAŁOŻENIA TECHNICZNE

5.1. Wybór rodzaju czujnika

Przeprowadzone badania wstępne wykazały, że do dalszej realizacji możemy wybrać zarówno czujnik indukcyjny jak też czujnik piezoelektryczny.

W kosztach produkcji i pracochłonności czujniki te są porównywalne. W czujniku indukcyjnym przy większej produkcji przewidyje się trudności z uzyskaniem kubków ferrytowych, natomiast w czujniku piezoelektrycznym przewiduje się trudności z uzyskaniem płytek piezoelektrycznych.

W czujniku indukcyjnym będą do pokonania trudności technologiczne w nawijaniu cewek cienkim drutem /0,05mm/, ponadto wystąpią trudności w uzyskaniu tworzywa termoplastycznego na karkas o wymaganej temperaturze pracy, zatem należy się liczyć z importem tworzywa z II-ej strefy płatniczej. Nie jest nam znana wytrzymałość zęczeniowa dla kubków ferrytowych i w tym zakresie byłyby konieczne dodatkowe badania. Reasumując powyższe proponuje się przyjęcie do dalszej realizacji czujnik z przetwornikiem piezoelektrycznym.

5.2. Wymagania

Czujnik detonacji powinien spełniać wymagania podane w założeniach konstrukcyjnych do układu zapłonowego z mikroprocesorem dla samochodu 1,2 opracowanych przez OBR-SO to jest :

- Układ powinien być odporny na wilgotność względną 98% przy 40°C przez 96h.
- Układ powinien być odporny na temperaturę 135°C [REDACTED].

- Układ powinien być odporny na nagłe zmiany temperatury podczas 25 cykli cieplnych każdy po 4h przy 125°C oraz po 4h przy - 40°C.
- Układ powinien być odporny na drgania sinusoidalne o stałej amplitudzie 2 mm przy częstotliwości od 10 Hz do 56 Hz i stałym przyspieszeniu 400 m s^{-2} przy częstotliwości od 56 do 500 Hz. Jeśli stwierdzi się jedną, dwie lub trzy częstotliwości rezonansowe, czas trwania próby dla każdej z trzech osi głównych badanego czujnika wynosi 10^7 cykli podzielonych równo na każdą częstotliwość.
Jeśli nie stwierdzi się częstotliwości rezonansowej lub będzie ich więcej niż trzy należy stosować przez 25h na osi automatyczną zmianę częstotliwości wg parametrów dla drgań o stałej amplitudzie i o stałym przyspieszeniu.
- Układ powinien działać poprawnie w warunkach kondensacji pary wodnej w temperaturze 0°C.
- Układ powinien działać oraz nie ulegać uszkodzeniu w warunkach mgły solnej przez 96 h przy 35°C.
- Układ powinien być odporny na działanie pyłu oraz produktów naftowych.
- Złącza elektryczne powinny uniemożliwiać błędne połączenie.
Ponadto:
- Masa czujnika nie powinna być większa jak 60 g.
- Poziom sygnału napięciowego przy obciążeniu 10 k Ω nie powinien być mniejszy jak 50 mV/5 g przy częstotliwości 5kHz.
- Czujnik nie powinien ulec uszkodzeniu przy pracy ze zwartym wyjściem przez 1 h.

- Obudowa czujnika nie powinna być połączona elektrycznie z żadnym z dwu wyjść elektrycznych.
- Przyłączenie przewodów do czujnika powinna być realizowane przez znormalizowane złącza konektorowe.

Czujnik powinien być hermetyczny i nierozbieralny.

5.3. Analiza potrzeb krajowych i możliwości ekspertowych.

Czujnik detonacji jest przeznaczony do korekcji kąta wyprzedzenia zapłonu w układzie zapłonu elektronicznego II generacji. Przewidywany też jest do stosowania dla zmodyfikowanego układu elektronicznego I generacji do wprowadzania sygnałów korekcyjnych.

Ponieważ planuje się początkowe wprowadzenie zapłonu II generacji tylko do około 25% produkowanych samochodów, początkową wielkość produkcji ocenia się na około 30 tys. szt/rok, z szybką tendencją wzrastającą do stosowania we wszystkich produkowanych samochodach co określa roczną produkcję na poziomie 600 tys. szt/rok uwzględniając części zamienne. Należy się też liczyć ze znacznymi możliwościami ekspertowymi do krajów RWPG produkujących samochody.

Z tych względów wydaje się celowe ^{uwzględnienie} ewentualnych uzgodnień normalizacyjnych RWPG jak przyłączenie czujnika do silnika i przyłączenie czujnika przewodami do układu elektronicznego oraz odporność na narażenia.

5.4. Przewidywane koszty produkcji.

Poziom kosztów produkcji /pracochłonność/, zależy od przyjętego rozwiązania konstrukcyjnego, oraz przyjętej technologii produkcji. Przyjęte rozwiązanie konstrukcyjne poprzedzone analizą rzeczy-

wistych specyficznych wymagań metrologicznych umożliwia produkcję masową dla której opłacalne jest stosowanie technologii wysokowydajnych, wymagających jednak odpowiednich nakładów inwestycyjnych. Ocenia się, że pracochłonność wykonania czujnika przy produkcji masowej nie powinna przekraczać 15 minut. Uwzględniając nawet początkową niewielką produkcję, koszt produkcji nie powinien być większy jak 2.000 zł/szt. wg cen 1985 roku.

6. PROJEKT WSTĘPNY

6.1. Opis budowy i działania

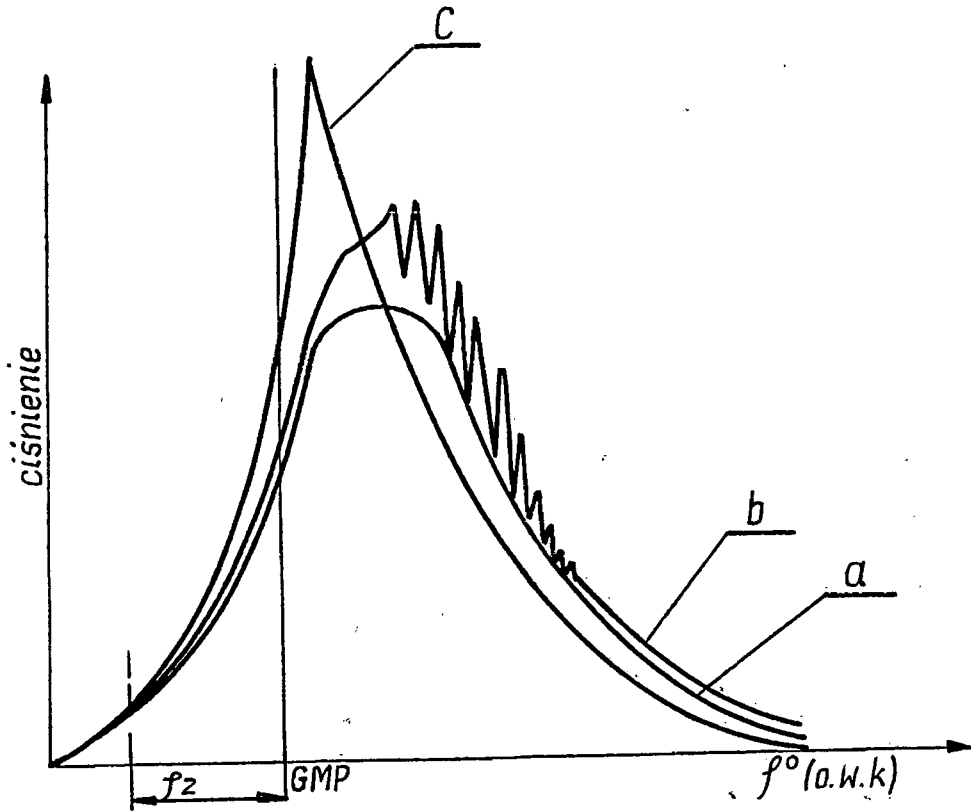
Czujnik posiada dwie ^{płytki} [REDAKTOR] piezoelektryczne pomiędzy którymi znajduje się bezwładnik / masa sejsmiczna /.

Rozwiązanie takie eliminuje konieczność stosowania przekładek izolacyjnych jak też zmniejsza wrażliwość na przyspieszenia przestopadłe do osi czujnika i kątowne. ^{Piezoelementy} [REDAKTOR] i bezwładnik są umieszczone w kadłubie wewnętrznym, który znajduje się w kadłubie zewnętrznym. Zastosowanie takiego rozwiązania pozwala na izolację od masy silnika, dobranie sztywności kadłuba wewnętrznego tylko pod kątem uzyskania pożądanej częstotliwości rezonansowej, dobranie zacisku wstępnego tak aby uzyskać pracę czujnika w zakresie charakterystyki nieliniowej. W kadłubie zewnętrznym nad kadłubem wewnętrznym znajduje się przestrzeń w której umieszczony jest tranzystor i rezystor. Przestrzeń ta jest zalana kauczukiem silikonowym. Kadłub wewnętrzny jest na zewnątrz malowany i wklejony na epidian do kadłuba zewnętrznego, co zapewnia dobre połączenie mechaniczne oraz izolację elektryczną. Przyspieszenie posiowe działające na bezwładnik powoduje zwiększenie naprężeń ściskających w jednej płytce piezoelektrycznej w drugiej natomiast ich zmniejszenie co przy odwrotnej ich polaryzacji daje sumowanie się ładunków powstających na płytkach. Sygnał napięciowy steruje otwarciem tranzystora, który jest częściowo otwarty przez zastosowanie rezystora w bazie. Zastosowanie tranzystora zmniejsza rezystancję wyjściową czujnika co zwiększa odporność na zakłócenia zewnętrzne.

6.2. Zakres prac potrzebnych dla umożliwienia wykonania modeli użytkowych.

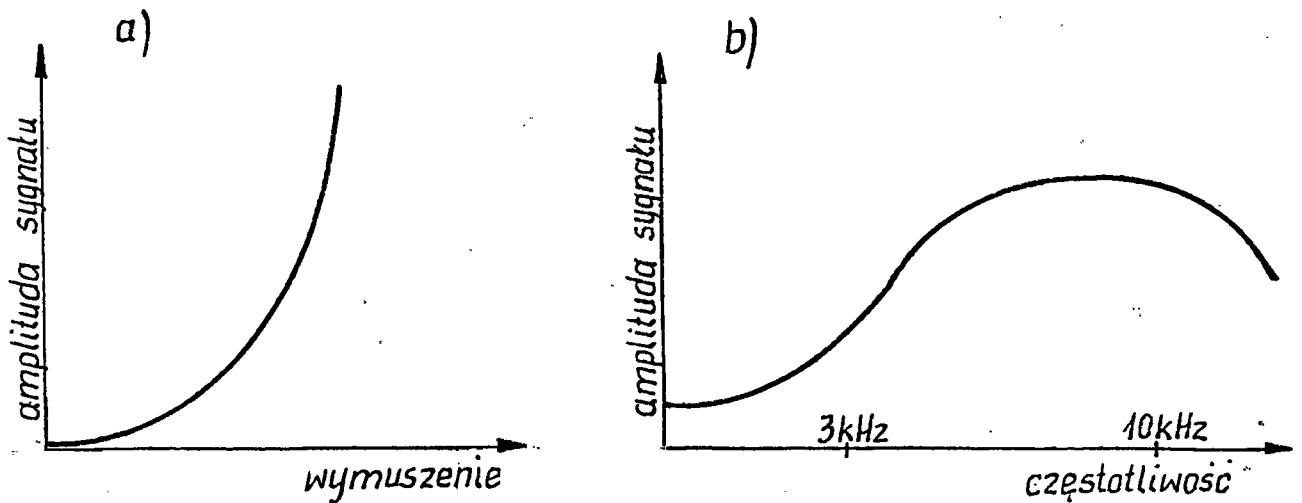
Dla umożliwienia wykonania modeli użytkowych niezbędne jest określenie:

- rzeczywistych przyspieszeń występujących na głowicy silnika przy spalaniu normalnym i spalaniu stukowym,
- częstotliwości charakterystycznych dla spalania stukowego,
- miejsca mocowania czujnika do silnika.



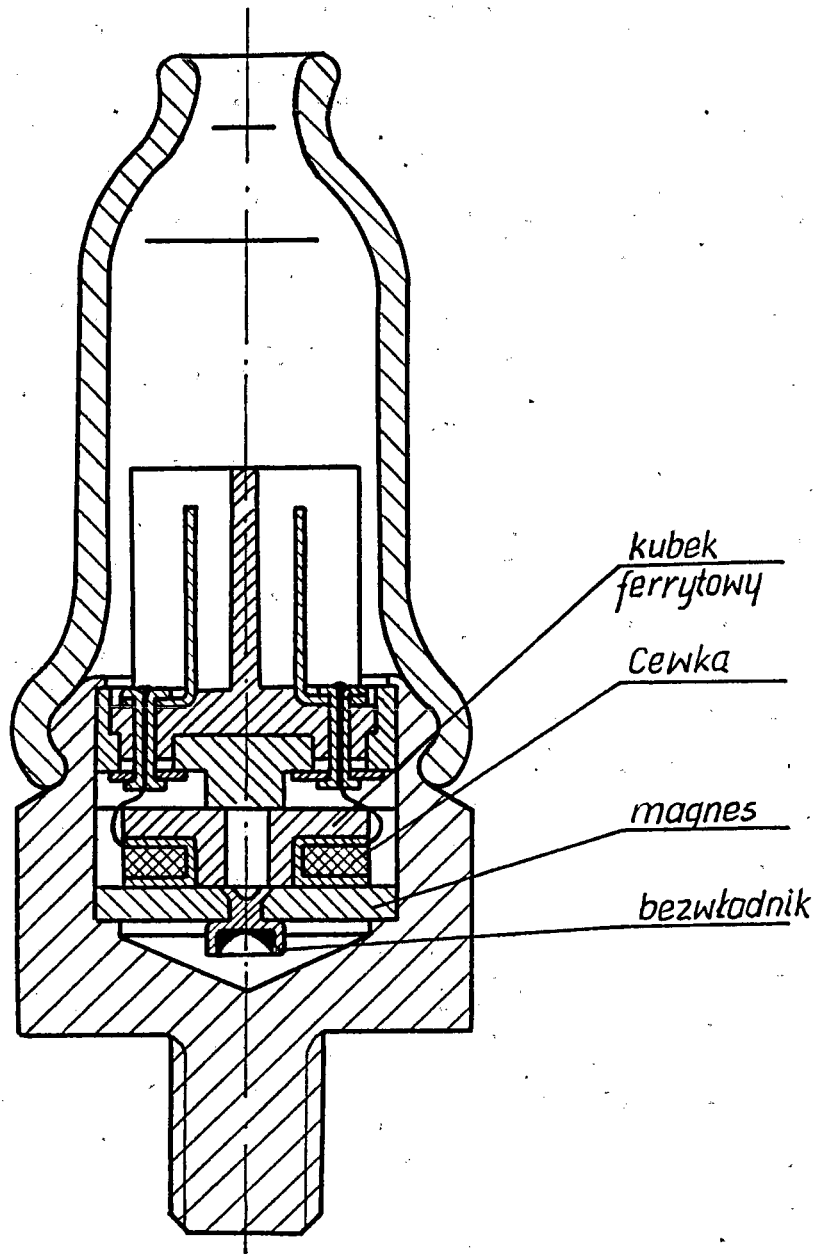
Rys. 1 Wykres indykatorowy przebiegu ciśnień spalania

- a - przebieg ciśnień przy spalaniu normalnym
- b - przebieg ciśnień przy spalaniu stukowym (knock)
- c - przebieg ciśnień przy spalaniu dudnieniowym (rumble)

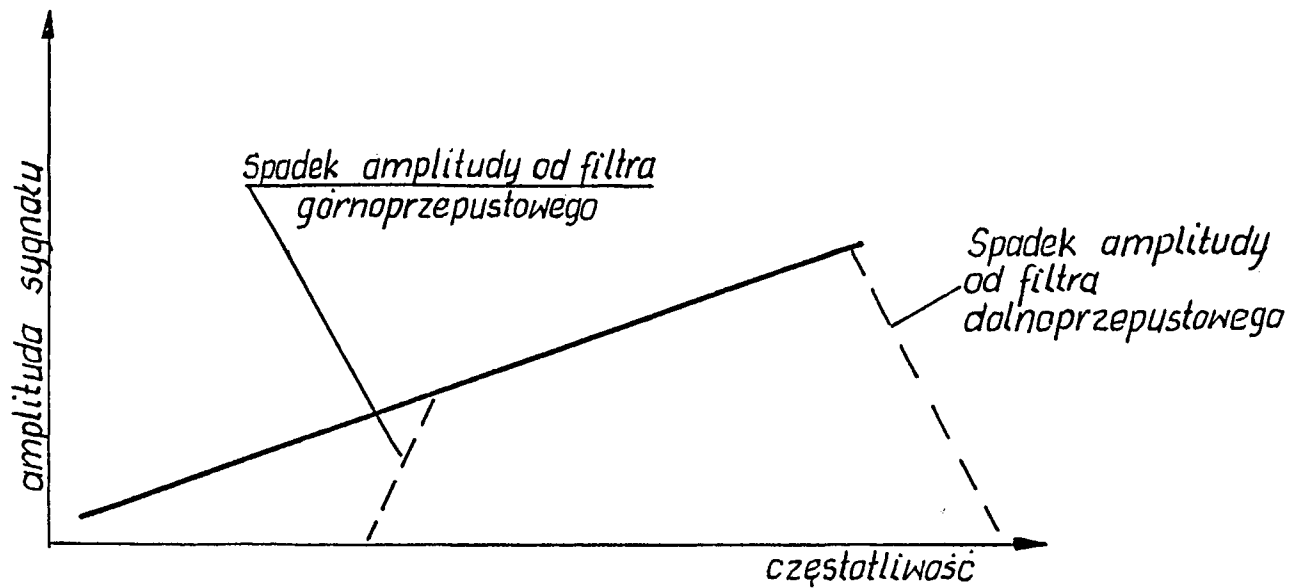


Rys. 2 Pożądane charakterystyki czujnika detonacji

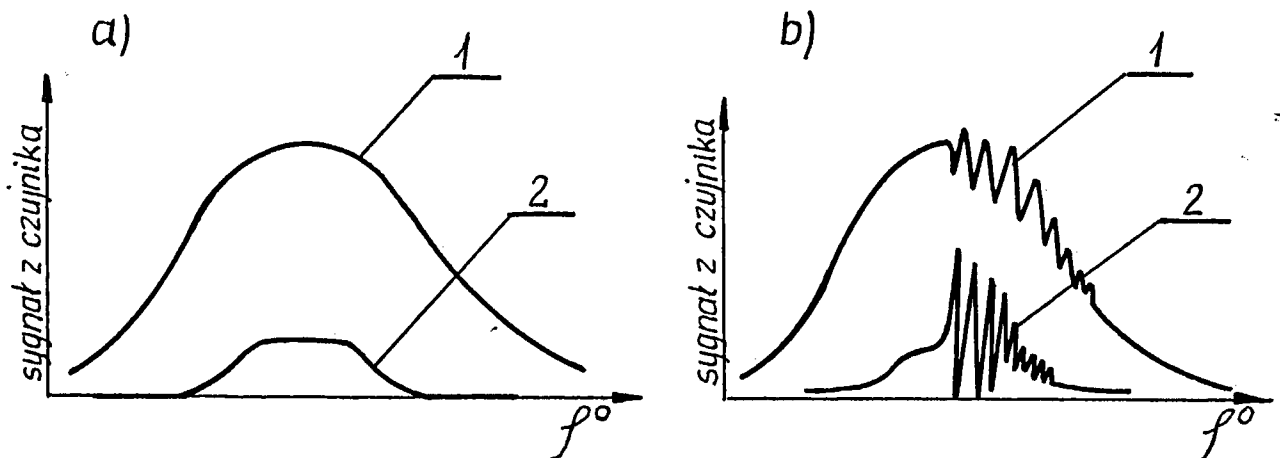
- a) charakterystyka amplitudowa
- b) charakterystyka częstotliwościowa



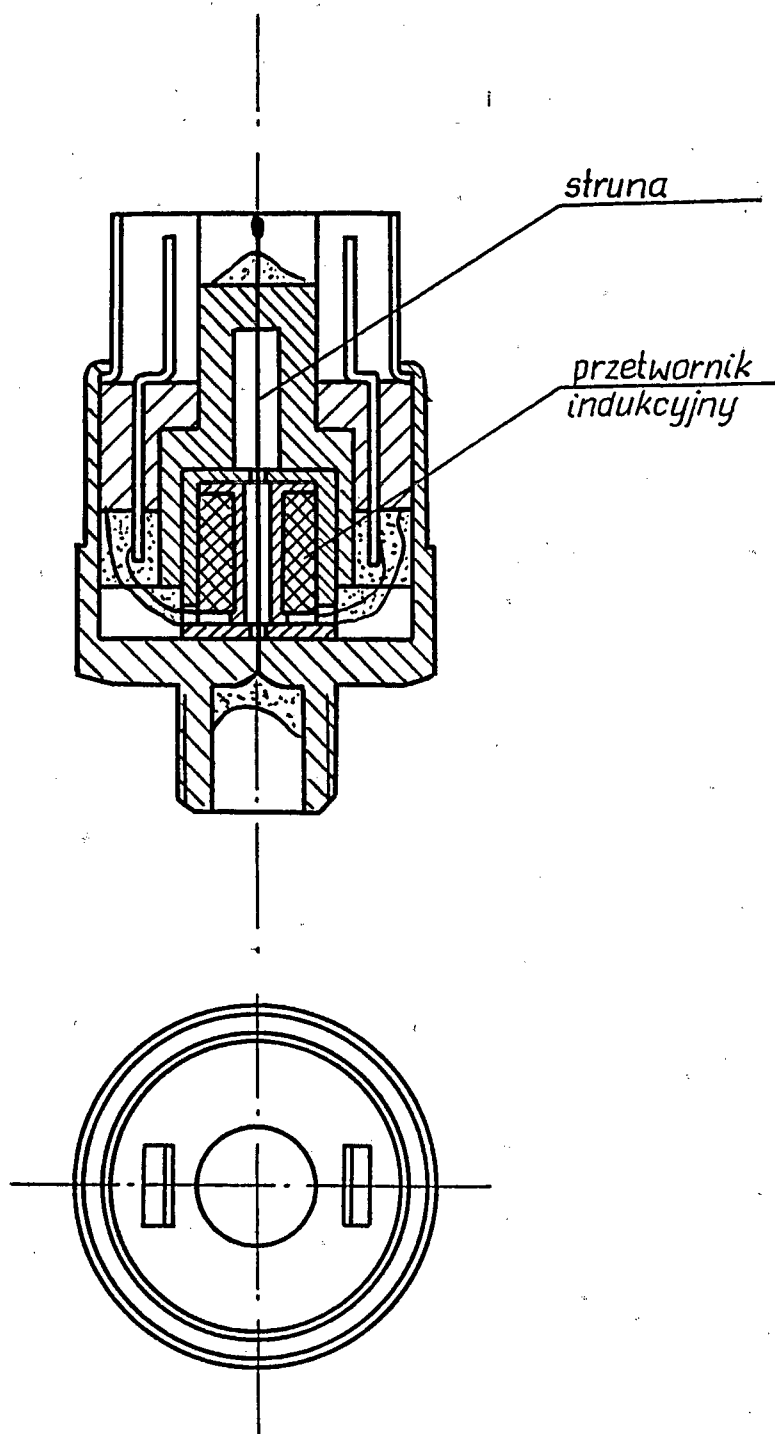
Rys.3 Czujnik indukcyjny z magnesem



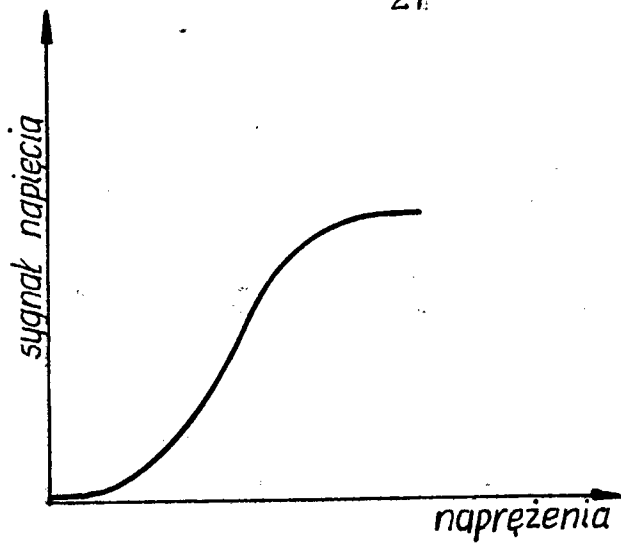
Rys.4 Przebieg amplitudy sygnału w wyniku zależności $U = \frac{d\phi}{dt}$, linią przerywaną naniesiono możliwość kształtowania charakterystyki filtrami dolno i górnoprzepustowymi.



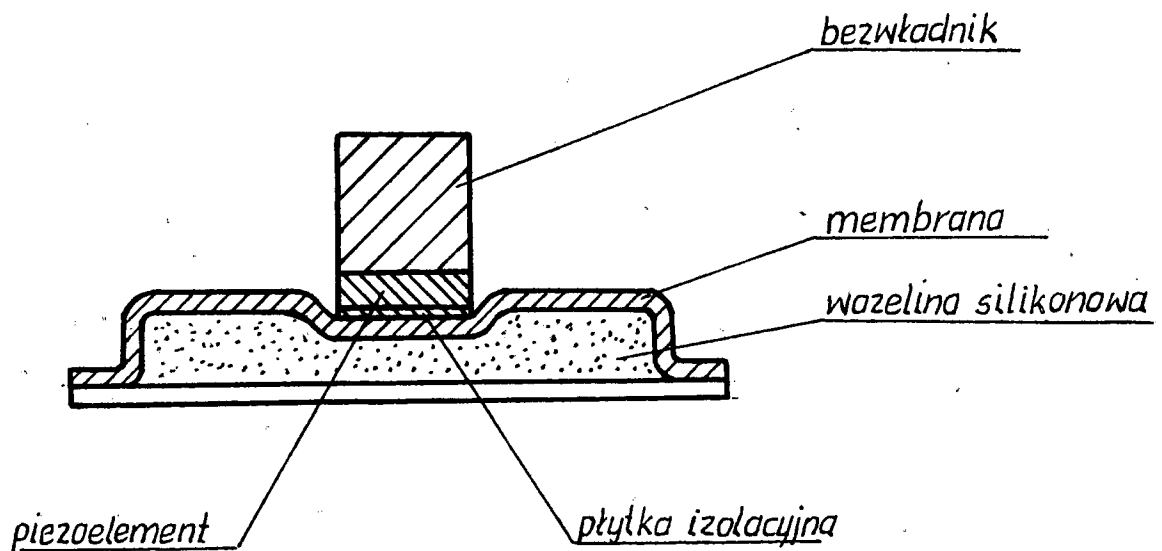
Rys.5 Przewidywany wykres indykatorowy wykonany czujnikiem przyspieszeń 1) liniowym 2) indukcyjnym o kształtowanej charakterystyce
a) dla spalania normalnego
b) dla spalania stukowego.



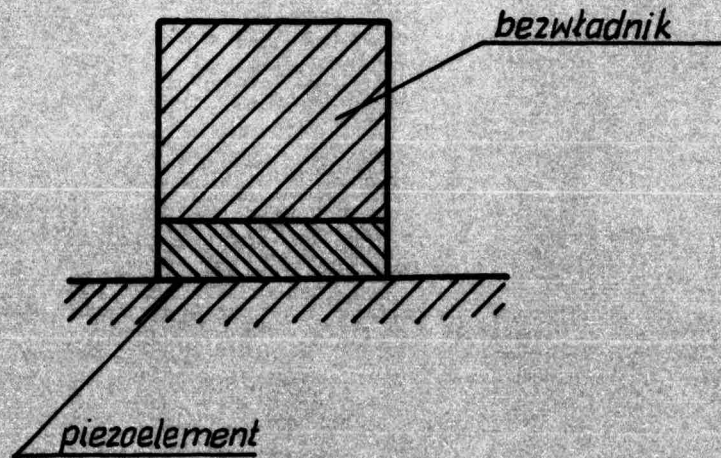
Rys.6 Czujnik strunowy z przetwornikiem indukcyjnym



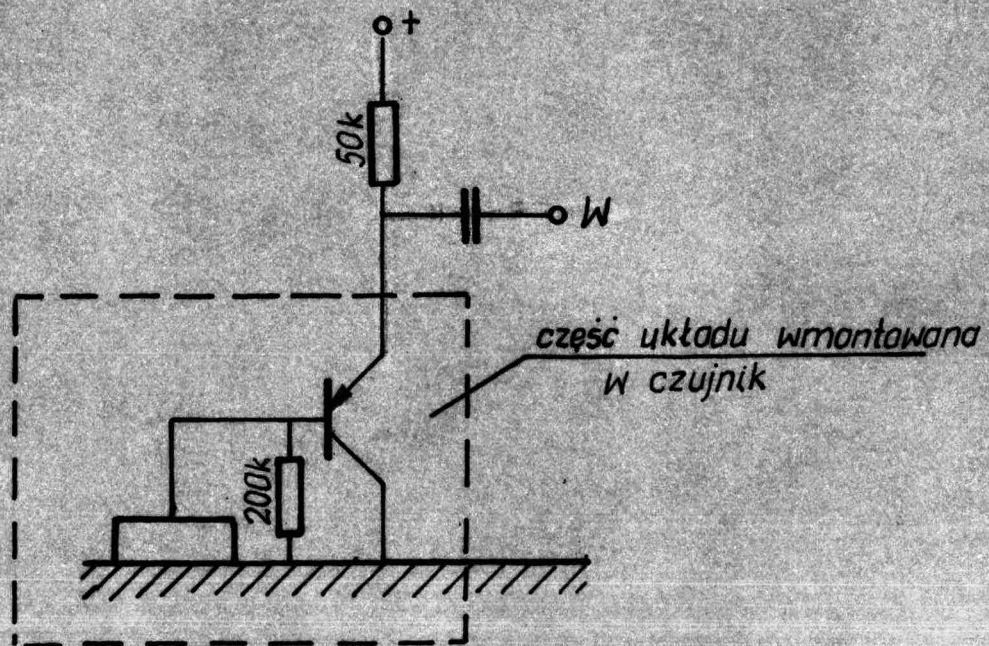
Rys.7 Charakterystyka piezoelementu



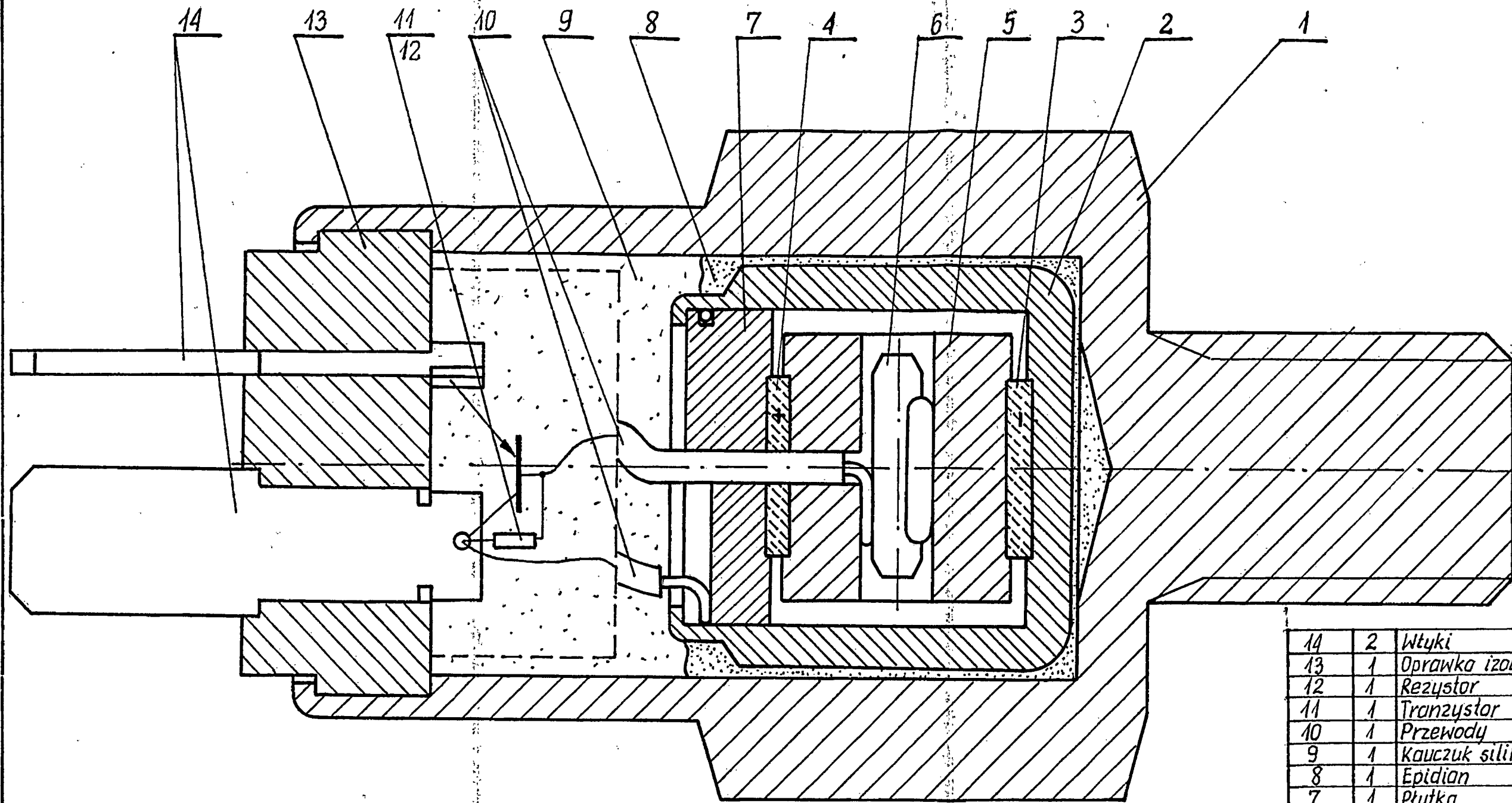
Rys.8 Schematyczne przedstawienie konstrukcji piezoelektrycznego czujnika przyspieszeń o nieliniowo ukształtowanej charakterystyce amplitudowej.



Rys. 9 Schematyczne przedstawienie konstrukcji czujnika z wyeliminowaniem membrany



Rys. 10 Schemat wzmacniacza wstępnego obniżającego rezystancję wyjściową



| | | | |
|----|---|-----------------------------|--|
| 14 | 2 | Wtyki | |
| 13 | 1 | Oprawka izolacyjna | |
| 12 | 1 | Rezystor | |
| 11 | 1 | Tranzystor | |
| 10 | 1 | Przewody | |
| 9 | 1 | Kauczuk silikonowy | |
| 8 | 1 | Epidian | |
| 7 | 1 | Płytki | |
| 6 | 1 | Kolek | |
| 5 | 1 | Bezwoadnik | |
| 4 | 1 | Płytki piezoelektryczna „b” | |
| 3 | 1 | Płytki piezoelektryczna „a” | |
| 2 | 1 | Kadłub wewnętrzny | |
| 1 | 1 | Kadłub zewnętrzny | |

| Nr części lub zesp. | Ilość | Nazwa | Nr rk. | I wagi |
|---------------------|-------|-------|--------|--------|
|---------------------|-------|-------|--------|--------|

| | | | | |
|--|--|--|--|----------------|
| Nazwa | | | | Podziałka |
| Czujnik detonacji silnika samochodu 1; 2 (projekt wstępny) | | | | 5:1 |
| Materiał | | | | Ciężar |
| Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów Warszawa | | | | Nr ark. 1 |
| Zakład ORC | | | | Nr rys. z-est. |
| | | | | Nr części ZSP |

| Znak zmiany | Ilosc zmian | Treść zmiany | Podpis | Data |
|-------------|-------------|--------------|--------|------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

Projektował: *Fa*
 Konstrukował: *Fa*
 Krescił: *E.L.*
 Sprawdził: *Fa*
 Kier. Pracowni: *Fa*
 Kier. Zakładu: *Fa*

30.08 85
 Zastępuje rys. Nr
 Zastąpiono przez rys. Nr
 Nr rysunku
 Zakład ORC